Historien om elektromagnetismen

Af Laila Zwisler, Teknologihistorie DTU

For snart 200 år siden – i 1820 – opdagede Hans Christian Ørsted, at en elektrisk strøm, der løb i en ledning henover et kompas, kunne påvirke magnetnålen. Dermed fandt han en sammenhæng mellem elektricitet og magnetisme, som han kaldte elektromagnetisme, og det åbnede nye felter inden for fysikken og teknologien. Her gennemgås en del af elektromagnetismens historie som optakt til fejringen af 200-året for Ørsteds opdagelse.

Indledning

I 1820 opdagede den danske videnskabsmand Hans Christian Ørsted noget nyt, da han lod en elektrisk strøm løbe gennem en platintråd hen over et kompas under en forelæsning. Strømmen fik magnetnålen i kompasset til at bevæge sig en lille smule. Ørsted havde fundet en sammenhæng mellem elektricitet og magnetisme, som han kaldte elektromagnetisme. Hermed havde Ørsted åbnet op for en række fremtidige opfindelser og et nyt forskningsfelt. Men det vidste man selvfølgelig intet om i Ørsteds samtid, hvor opdagelsen kom som et chok for mange fremtrædende forskere, fordi den fuldstændig modsagde deres teorier. Hovedpersonen selv var nok ikke overrasket. Ørsted havde længe leget med idéen om, at en elektrisk strøm kunne påvirke en magnet. Han skrev det direkte i 1812 i bogen “Ansicht Der Chemischen Naturgesetze”:

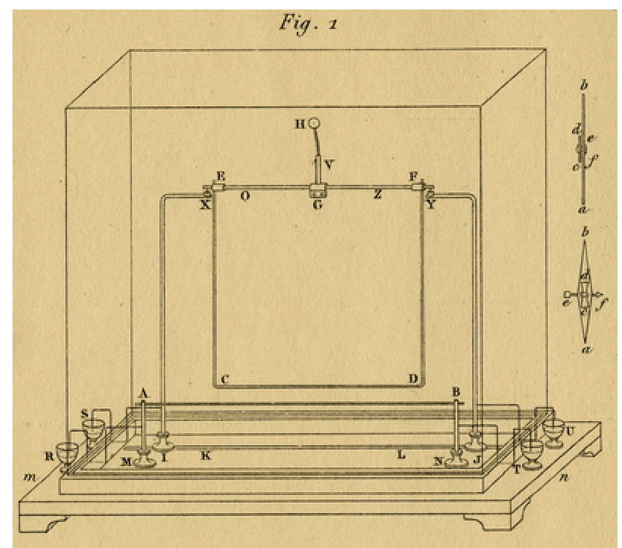
“Samtidig skulle man forsøge, om man ikke i en af de tilstande, hvori elektricitet er meget forbunden, kunne frembringe en virkning på magneten som magnet. Sagen ville ikke være uden vanskeligheder, fordi elektriciteten ville virke på det magnetiske legeme som på det umagnetiske; måske var det dog muligt at få noget information herom gennem sammenligning af magnetiske og ikkemagnetiske nåle.”



Figur 1. H.C. Ørsted holder en ledning over en kompasnål på mindepladen, som blev sat op i Nørregade, hvor Ørsted opdagede elektromagnetismen. Foto: Teknologihistorie DTU.

Forventningen om elektromagnetismens eksistens var også i overensstemmelse med Ørsteds livsfilosofi. Ørsted var inspireret af den tyske romantiske skole inden for naturfilosofien. Romantikerne mente, at der var en fundamental enhed i naturen, og at alt i verden var forbundet. Verden var dynamisk, og fænomener skulle forstås som vekselvirkning mellem modsatrettede kræfter, som hele tiden søgte at opnå balance gennem konflikt. For Ørsted var fænomener som elektricitet og magnetisme manifestationer af denne enhed.

Romantikken stod i skarp kontrast til den matematiske naturbeskrivelse, som var toneangivende inden for fysikken i begyndelsen af 1800-tallet, specielt i Frankrig. Forbindelsen mellem elektricitet og magnetisme var så stor en overraskelse, fordi de førende forskere mente, at elektricitet og magnetisme bestod af helt forskellige typer partikler – kaldet Subtile Fluida – der umuligt kunne påvirke hinanden.



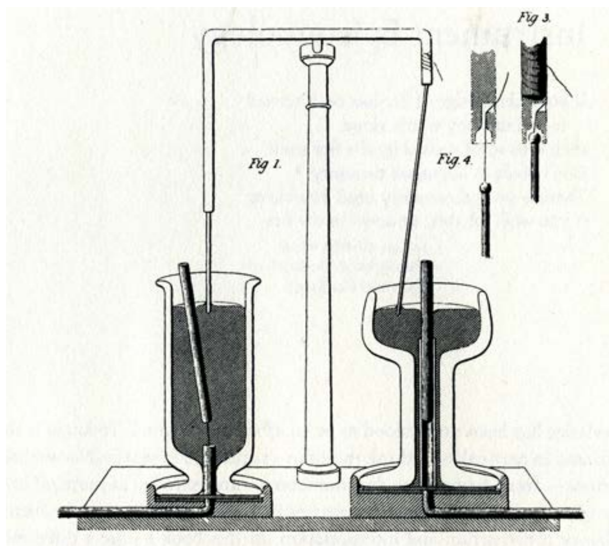
Figur 2. Når man sender en strøm gennem de to ledere i dette apparat, vil den ene bevæge sig. Fra Ampères *Recueil d’observations électro-dynamiques*, 1822. Foto: Teknologihistorie DTU.

Fransk skepsis

I Paris blev nyheden om Ørsteds opdagelse af en elektromagnetisk effekt mødt med skepsis. Var det et romantisk drømmeri? Det franske akademi satte en gruppe forskere til at efterprøve Ørsteds forsøg, og en uge senere demonstrerede de, at den var god nok – en strømførende ledning kunne påvirke en magnet.

En række franske videnskabsmænd, bl.a. André-Marie Ampère, kastede sig ud i arbejdet med at undersøge det nye fænomen. Han troede ikke på, at Ørsteds forsøg beviste en forbindelse mellem elektricitet

og magnetisme. Ifølge Ampère handlede fænomenet kun om strøm, og han fremstillede et apparat, hvor to strømførende ledninger tiltrak eller frastødte hinanden. Ampère mente, at der var små elektriske strømme i en magnet, og at det var dem, der var på spil. Det havde slet ikke noget med magnetisme at gøre.



Figur 3. Faradays apparat, hvor en strømførende ledning roterede om en magnet og omvendt. Fra *Experimental Researches in Electricity*, 1844. Foto: Wikicommons.

Med sin store indsats på området lagde Ampère fundamentet for mange senere teorier om elektromagnetisme, og han begyndte den matematiske udvikling på feltet.

Ørsteds opdagelse vakte også englænderen Michael Faradays interesse. I 1821 fandt Faraday ud af, at en magnet og en strømførende ledning kunne rotere om hinanden, og ti år senere opdagede han induktionen – at en magnet kunne skabe strøm i en ledning, hvis de bevæger sig i forhold til hinanden. Amerikaneren Henry Joseph opdagede i øvrigt denne effekt samtidig med Faraday.

Ørsted selv bidrog ikke meget til det videnskabelige arbejde med elektromagnetismen efter 1820. Måske havde han fundet det, der interesserede ham. Men den berømmelse, som fulgte med opdagelsen, gav Ørsted indflydelse. I sin samtid var han Danmarks førende naturvidenskabsmand.

Ørsted og den effekt, han havde påvist, begyndte nu hver deres rejse. Ørsteds næste store opdagelse blev inden for kemien, hvor han fandt en metode til at isolere aluminium. Det vakte dog ikke den helt store interesse i Ørsteds livstid.

H. C. Ørsteds baggrund

Hans Christian Ørsted blev født i 1772 i Rudkøbing. Hans far var apoteker, og det var helt naturligt, at unge Hans Christian fulgte i faderens fodspor og arbejdede i dennes forretning. I 1797 tog han den farmaceutiske embedseksamen, men Ørsted ville mere end det, og allerede i 1799 afleverede han sin doktordisputats i naturfilosofi på Københavns Universitet. Ud over at bestyre Løve Apoteket i København arbejdede han ulønnet som adjunkt ved Det Medicinske Fakultet på Københavns Universitet og gennemførte fra 1801 studier i kemi og fysik i udlandet.



Figur 4. Ørsted som ung. Kobberstik af Gilles-Louis Chrétien, ca. 1800. Foto: Teknologihistorie DTU.

Ørsted mødte romantikkens idéverden i København, bl.a. gennem naturfilosoffen Heinrich Steffens foredrag. Det lykkedes Ørsted at sikre sig en position ved Københavns Universitet i 1806, hvor han blev ekstraordinær professor i fysik, og i 1817 blev han ordinær professor i fysik. Da Ørsted opdagede elektromagnetismen, havde han en god akademisk position og indflydelse i Danmark. Førende internationale forskere var dog skeptiske over for Ørsteds romantiske videnskab.

Den altfavnende Ørsted og teorien om alting

Ud fra nutidens snævre akademiske specialisering kan man måske undre sig over, at en farmaceut og kemiker blev professor i fysik. Men Ørsted var meget bredt orienteret, og vores faggrænser ville ikke give mening for ham. Han anså sig selv for naturgransker og så en sammenhæng mellem naturlove, moral, sandhed og æstetik. *"Videnskab, kunst og moral giver indsigt i det sande, det skønne og det gode og fører derved, hver på sin måde, til erkendelse af Gud"*, skrev Ørsted i sin bog *Ånden i Naturen*. For Ørsted var der en dyb fornuft i naturen, og indsigt i denne fornuft kunne opnås på mange måder.

Med sit brede udsyn blev Ørsted en af den danske guldalders ledende kulturpersonligheder. Gennem hele sit liv kæmpede han for at styrke naturvidenskaberne i Danmark, og han var en af hovedkræfterne bag oprettelsen af Den Polytekniske Læreanstalt (nu DTU).

Ørsted udviklede også det danske sprog. Han mente, at ord af nordisk oprindelse ville skabe et stærkere og klarere indtryk på menneskets fantasi og intuition. Derfor stod Ørsted bag indførelsen af mange nye danske ord som fx brint, ilt, rumfang og ildsjæl. I hans vennekreds var vigtige danske forfattere som Adam Oehlenschläger og H. C. Andersen.

Idéen om ånden i naturen førte til en tro på naturvidenskabernes folkeopdragende betydning og til

oprettelsen af Selskabet for Naturlærens Udbredelse, hvorigennem Ørsted og andre udbredte viden om fysik og kemi til den almene befolkning.



Figur 5. Den Polytekniske Læreanstalt set fra Studiestræde. Ørsteds professorgård blev en del af Læreanstalten. Foto: Teknologihistorie DTU.

Ørsted kastede sig også ud i en langvarig debat med Grundtvig. Den folkelige Grundtvig brød sig ikke om tidens elitære lærde, som bl.a. ville finde Gud i naturen. Efter Grundtvigs opfattelse fandt man Gud i biblen. Religion stod helt centralt i den kristne Ørsteds liv, og han krydsede klinger med Grundtvig mere end én gang.

Men Ørsteds handlinger var ikke alene forenelige med romantikkens idéer, hvor man kun fandt viden gennem fornuften. I sit naturvidenskabelige virke var Ørsted en flittig og grundig eksperimentator, og han søgte empirisk bekræftelse på hypoteser i den omgivende verden. Herved forbandt han romantikken med oplysningstidens idealer.

Ørsteds naturfilosofiske holdninger fik ham til at nedtone betydningen af matematik i naturvidenskaberne. Med Ørsteds betydelige magt fik det betydning for både forskning og undervisning i Danmark. Ørsteds efterfølger som professor i fysik, Carl Valentin Holten, var heller ikke matematisk orienteret. Danmark stod derfor uden for udviklingen af den nye matematiske fysik. I dag, hvor naturvidenskab og matematik nærmest er synonymer, hører man nogle gange, at Ørsted ikke var særlig videnskabelig, fordi han ikke brugte matematik.

Var Ørsted den første?

Var Ørsted den første, der så en elektromagnetisk effekt? Spørgsmålet om, hvem der er den første, er oftest komplekst, og der er da også forskellige fortolkninger af, hvordan elektromagnetismen blev opdaget og af hvem. Mange fremstillinger af opdagelsen inkluderer italieneren Gian Romagnosi, der eksperimenterede med voltasøjlens effekt på et kompas i 1802 og publicerede sine fund i en lokal avis. Men man kan ikke være sikker på, at Romagnosi opdagede elektromagnetismen, fordi beskrivelsen af hans eksperimenter er uklar. Så man kan ikke afgøre, om den effekt, han observerede, nu også var en elektromagnetisk effekt. Han fortalte heller ikke om sine eksperimenter i internationale videnskabelige kredse.



Figur 6. Ørsted tegnet af Eckersberg i 1822. Man kan se en magnetnål på billedet. Foto: Teknologihistorie DTU.

Ørsted derimod var professor i fysik ved Københavns Universitet og en del af det videnskabelige samfund på sin tid. Med sin viden om tidens videnskabelige teorier, vidste Ørsted, at han havde set noget betydningsfuldt, som modsagde dominerende teorier. Ørsted vidste også, at det var vigtigt at offentliggøre opdagelsen i videnskabelige kredse. Han kendte de videnskabelige metoder og udførte grundige systematiske eksperimenter og beskrev dem så detaljeret, at de kunne efterprøves af andre. Derfor er det helt klart, at Ørsted så et elektromagnetisk fænomen og erkendte dets særlige karakteristika. Det er derimod uklart, om Ørsted kendte til Romagnosis arbejde.

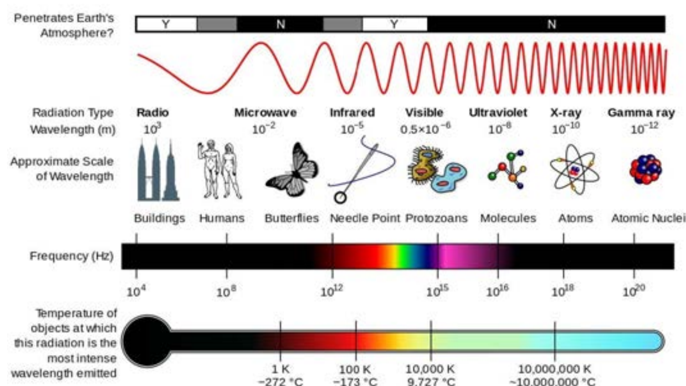
Elektromagnetisme og verdensbillede

Opdagelsen af elektromagnetismen kom til at påvirke vores forståelse af verden. En af de forskere, som arbejdede videre på den teoretiske forståelse af elektromagnetismen, var James Clerk Maxwell. I midten af 1800-tallet formulerede han en teori som forenede elektricitet, magnetisme og lys samt viste teoretisk, at de var manifestationer af det samme fænomen. Maxwell viste også, at elektromagnetiske felter ikke kun virker lokalt, men at elektromagnetisk stråling kan rejse gennem rummet med lysets hastighed. I 1886 observerede fysikeren Hertz disse bølger, og med tiden blev det almindeligt at opfatte lys som elektromagnetisk stråling.



Figur 7. Er dette elektromagnetismens retmæssige opdager? Gian Romagnosi af E. Moscatelli, som har kopieret et værk malet af Giuseppe Molteni. Foto: Wikicommons.

Lys viste sig at have flere overraskende aspekter. Forskere havde nemlig fundet lys – ultraviolet og infrarødt – som mennesket ikke kan se med det blotte øje. Efterhånden så man et helt spektrum af elektromagnetisk stråling med forskellige bølgelængder. Det har man bl.a. brugt til at udforske mælkevejen og til at få informationer om det, vi ikke kan se. Fx beskriver NASA, hvordan man har observeret baggrundsstråling i mikrobølgeområdet, som man fortolker som rester fra Big Bang.



Figur 8. Det elektromagnetiske spektrum. Kilde: NASA.

Med fremkomsten af kvantefysikken omkring 1900-tallets begyndelse fik lyset, og dermed elektromagnetismen, en mere og mere central rolle i fysikfagligheden. Elektromagnetisme regnes i dag for en af de fire fundamentale vekselvirkninger, som holder vores verden sammen. Den mest kendte af vekselvirkningerne er tyngdekraften. Mange fysikere forventer, at de fire fundamentale vekselvirkninger kan forenes til en teori – de tre er forenet, mens tyngdekraften stritter imod. Disse bestræbelser ville sikkert være faldet i Ørsteds smag.

Elektromagnetisme og teknologi

Ørsteds opdagelse blev hurtigt hvirvlet ind i hans samtids teknologiske udvikling. Et stort antal teknologier kom til at bruge elektromagnetismen, og her følger blot nogle eksempler på brugen af elektromagnetisme inden for kommunikation, elektriske motorer og vedvarende energi.

På kommunikationsområdet viste elektromagnetismen sig brugbar inden for telegrafi. Mange forbinder måske telegrafi med morsekode, men punkt-til-punkt-kommunikation med synlige signaler er en gammel praksis. Man har fx kommunikeret med flag. Da Ørsted opdagede elektromagnetismen, havde flere opfindere allerede forsøgt at bruge elektricitet til telegrafi, og snart forsøgte man at anvende elektromagnetisme til dette formål. Det blev englænderne William Cooke og Charles Wheatstone, der udviklede det første kommercielle elektromagnetiske telegrafsystem til jernbanelinjen Great Western Railway i 1838. Amerikanske Samuel Morse udviklede sit system på samme tid. De korte beskeder, som man sendte gennem telegrafsystemet, var vigtige både til politiske og forretningsmæssige formål. Såvel magthavere som entreprenører investerede i systemet, og et vidtforgrenet net af telegrafkabler formede sig.



Figur 9. Cooke og Wheatstone brugte den elektromagnetiske effekt til at bevæge nåle i deres telegraf. Denne har fem nåle, som ved fælles hjælp kan pege på ethvert bogstav i alfabetet. Foto: Wikicommons.

Med den store interesse for kommunikation kom der mange bud på, hvordan man kunne forbedre telegrafien. Kunne man fx overføre et telegram gennem luften? Flere opfindere arbejdede på overførsel af lyd uden et kabel – med elektromagnetismen som én af medspillerne. Der blev skarp konkurrence mellem forskellige teknologier, der udsendte elektromagnetiske radiobølger, fx mellem en gnistsender fra italienske Marconi og en buesender fra danske Valdemar Poulsen. Enhver, der havde det

rette apparatur, kunne lytte med på trådløse meddelelser. Det var en udfordring for militæret, som helst ikke delte oplysninger med eventuelle fjender, mens det blev til glæde for mange i det civile liv. De bød gerne radioudsendelser med musik og nyheder fra den store verden ind i stuerne.

Opfindere arbejdede også med en talende telegraf, som man senere kaldte en elektromagnetisk telefon. Mange ventede, at telefonen ville blive brugt til korte beskeder blandt forretningsmænd, men til deres overraskelse anvendte fx kvinder den til at vedligeholde relationer til familie og venner. Igen fik en kommunikationsteknologi en uventet rolle i privatlivssfæren.



Figur 10. Hovedtelegraflinjerne i 1891 ifølge Stielers Hand-Atlas. Næsten hele kloden var forbundet og med de mindre linjer kunne et telegram komme langt omkring. Foto: Wikicommons.

Elektromagnetisme blev altså en del af standardarsenalet for teknologer, der lavede apparater til massekommunikation. Men det har også ført til bekymring. Det moderne menneske lever livet med elektromagnetisk stråling, fx fra mobiltelefoner og andre apparater, og man diskuterer, om det har en helbredseffekt.

Elektromagnetismen kunne ikke kun anvendes til kommunikation, men også til motorer. Faradays rotationsprincip fra 1821, hvor en strøm får en magnet til at bevæge sig, omdanner elektricitet til bevægelse. Man kan sige, at Faraday skabte den første elektromotor, som dog ikke havde et praktisk sigte. Både opfindere og forskere arbejdede med motorer, men selvom mange udviste stor opfindsomhed, skulle der gå lang tid, før de fik den store udbredelse.

Batterierne var én af de begrænsende faktorer. De var store og dyre, og med dem var motorerne ikke en fordelagtig konkurrent til andre kraftkilder. For eksempel fik Thomas Davenport i 1837 patent på en motor, som han havde udviklet i samarbejde med sin kone Emily. Men ægteparrets opfindelse floppede kommercielt, og de gik fallit.

Elektromotorerne vandt dog for alvor indpas efter 1880'erne, hvor de elektriske forsyningssystemer vandt frem. Nu var fleksibilitet elektromotorens styrke. Med en elektromotor behøvede man ikke overføre bevægelse med bælter eller remme fra en central kraftkilde som en dampmaskine eller et vandhjul. Efterhånden som elektriciteten vandt frem, blev elektromotoren en fast favorit, og elektriske motorer fandt vej til bl.a. en række husholdningsapparater. Men elektromotoren vandt ikke på alle felter. Da bilerne kom frem i slutningen af 1800-tallet, brugte opfindere både damp-, elektro- og forbrændingsmotorer. Forbrændingsmotoren blev industristandarden, mens elmotoren fandt vej til nicher som mælkevogne.



Figur 11. Vindturbiner på Risø. Møller kan bruge elektromagnetisk induktion til at lave elektricitet. Foto: Teknologihistorie DTU.

Elektromotorer, elektricitetsværker og telefoner forbruger energi, og den udbredte brug af dem har været med til at gøre vores samfund dybt afhængigt af fossile brændstoffer. Men elektromagnetisme kan også udnyttes til at lave vedvarende energi gennem induktion. Hvis man kan få fx vind eller vand til at bevæge en magnet i forhold til en spole, opstår der en elektrisk strøm i spolen.

Elektromagnetismen viste sig i det hele taget brugbar i mange teknologier, mange flere end der er beskrevet her. Den er en del af vores teknologiske standardarsenal, ganske som søm og tandhjul, og forskere og opfindere arbejder til stadighed på nye anvendelser. Et eksempel fra DTU er et projekt, som skal udnytte, at vand er elektromagnetisk. Vand kan let polariseres, dvs. et elektrisk felt kan bruges til at ændre fordelingen af ladning i væsken. Det forventer man at kunne bruge til at lave kunstige materialer med helt nye egenskaber, som ellers ikke findes i naturligt forekommende materialer.

Hvis ikke Ørsted havde fundet elektromagnetismen

Hvordan ville vores verden se ud, hvis Ørsted ikke havde opdaget elektromagnetismen? Det er nærliggende at tænke, at opdagelsen af elektromagnetismen lå lige til højrebenet efter opfindelsen af batteriet, og mange

historikere mener, at hvis ikke Ørsted havde lavet forsøget, havde en anden nok fundet elektromagnetismen inden for relativt kort tid. I nyere tid ser man meget ofte, at videnskabelige opdagelser gøres af flere personer næsten samtidig, og man kan hævde, at opdagelsen af elektromagnetisme næsten automatisk ville følge efter opfindelsen af batteriet.

Men der kunne være gået lang tid, og så ville verden i dag måske befinde sig i en anderledes teknologisk situation, hvor andre teknologier, end dem, der anvender elektromagnetismen, havde vundet frem. Og måske havde vi haft en anden videnskabelig forståelse af vores verden. Enkelte observatører har fremsat scenarier, hvor den teknologiske udvikling nærmest ville være stoppet omkring 1820, hvis elektromagnetismen ikke var blevet opdaget. Men vi må ikke undervurdere menneskets evne til at finde på.

Litteratur

[1] Dan Charly Christensen (2009) "Naturens tankelæser. En biografi om Hans Christian Ørsted", Museum Tusculanums Forlag.

[2] Christopher Cooper (2015) "The Truth about Tesla", Race Point Publishing.

[3] Anja Skaar Jacobsen (2006) "Propagating Dynamical Science in the Periphery of German Naturphilosophie: H. C. Ørsted's Textbooks and Didactics", *Science & Education*, bind 15, side 739–760.

[4] Ole Knudsen (1991) "Elektromagnetisme 1820-1900", Steno Museets Venner.

[5] Helge Kragh (2002) "Quantum Generations. A history of physics in the twentieth century", Princeton, New Jersey.

[6] Helge Kragh (2005) "Natur, Nytte og Ånd", Dansk Naturvidenskabs Historie, bind 2, side 229–264.

[7] Kirstine Meyer (red.) (1920) "H. C. Ørsted Naturvidenskabelige Skrifter", bind II.

[8] Gudrun Wolfschmidt (red.) (2007) "Von Hertz zum Handy. Entwicklung der Kommunikation", Nuncius Hamburgensis. Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, bind 6.

[9] magine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrumobservatories1.html, tilgået 9. maj 2018

[10] *Nyt fra Teknologihistorie DTU* (2018), nr. 1, side 14, Teknologihistorie DTU, Kgs. Lyngby, ISSN 2446-354X



Laila Zwisler er leder af Teknologihistorie DTU og arbejder med ingeniørvidenskabernes historie.

Om valg af ord

Af Finn Berg Rasmussen, Niels Bohr Instituttet, Københavns Universitet og KVANT

Inden for naturvidenskaben kender vi tilfælde, hvor ordvalget kan skabe et forkert indtryk. Skulle vi ikke overveje, hvornår vi siger -teori, -lære eller -lov?

Kreationister lever tilsyneladende højt på udtrykket "Darwins evolutionsTEORI". Det er jo bare en teori! Selv om der kan være diskussion om evolutionens mekanismer, i detaljer, er der da tale om en evolutionsLÆRE.

RelativitetsTEORIERNE kan stadig appellere til optimistiske amatører, der mener at finde fejl i eller behov for modifikation af Einsteins lære. Hvorfor taler vi om Newtons love, men ikke om Einsteins første, anden, tredie... lov? Hans love har jo vist sig at være den hidtil bedste beskrivelse af de fysiske fænomener.

For eksempel kommer enhver, der bruger GPS, jo ikke uden om det faktum, at tidssignalerne fra satellitternes atomure skal korrigeres i overensstemmelse med Einsteins ligninger; ellers ville systemerne være helt ubrugelige.

Langt mere uskyldigt er det, når det drejer sig om at finde et navn til et eller andet fænomen. I dette nummer af KVANT er der et aktuelt eksempel (se Holger Nielsens artikel side 17), nemlig ordet "tyngdebølger". De nyligt opdagede gravitationsbølger omtales hyppigt som tyngdebølger (de optræder jo som en forstyrrelse i tyngdefeltet). I oceanografi bruger man imidlertid ordet i forbindelse med bølger i fx en væskeoverflade, hvor der skelnes mellem tyngdebølger og kapillarbølger.

Når der går politik i valget af betegnelser, kan det gå helt galt. Tænk bare på, hvordan republikken Makedonien bliver holdt uden for EU, fordi Grækenland frygter konsekvenserne af dette navn. Og det fortælles, at Kina begrunder krav på et vist havområde, fordi navnet "Det Sydkinesiske Hav" klart viser, at det er kinesisk territorialfarvand.